

2/3 (1/1 WPI) - (C) WPI / DERWENT

AN - 2001-347426 [37]

AP - JP19990171933 19990618

PR - JP19990171933 19990618

TI - Probe type microscope for information recording and reproducing apparatus, has distance adjustment mechanism to adjust distance between probe surface and specimen

IW - PROBE TYPE MICROSCOPE INFORMATION RECORD REPRODUCE APPARATUS DISTANCE

ADJUST MECHANISM ADJUST DISTANCE PROBE SURFACE SPECIMEN

PA - (RICO ) RICOH KK

PN - JP2001004519 A 20010112 DW200137 G01N13/14 018pp

ORD - 2001-01-12

IC - G01B17/00 ; G01N13/10 ; G01N13/12 ; G01N13/14 ; G01N13/16 ; G11B7/09

FS - EPI

DC - S02 S03 T03 V05 W04

AB - JP2001004519 NOVELTY - Distance between surface of probe and specimen (14) is adjusted by distance adjustment mechanism. Voltage application unit impresses voltage between probe and specimen, and excitation unit vibrates probe by preset resonance frequency. Vibration amplitude measurement unit measures change of vibration amplitude in probe, when probe approaches specimen.

- DETAILED DESCRIPTION - Probe microscope uses near field light generated near probe (13) of optical fiber. An INDEPENDENT CLAIM is also included for information recording and reproducing apparatus.
- USE - For information recording and reproducing apparatus such as optical disk, compact disk apparatus for computer.
- ADVANTAGE - As the distance between the specimen and probe is adjusted by distance adjustment unit, the information recording and reproducing apparatus of high operating speed without colliding of specimen and probe is achieved.
- DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows diagram of schematic component of probe microscope.
- Probe 13
- Specimen 14
- (Dwg.1/11)

3/3 (1/1 PAJ) - (C) PAJ / JPO

PN - JP2001004519 A 20010112

AP - JP19990171933 19990618

PA - RICOH CO LTD

IN - TAKAHASHI JUNICHI

I - G01N13/14 ; G01B17/00 ; G01N13/10 ; G01N13/12 ; G01N13/16 ; G11B7/09

TI - PROBE MICROSCOPE AND DATA RECORDING AND REPRODUCING APPARATUS

AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a probe microscope not causing the collision of a probe with a sample and high in operation speed and a data recording and reproducing apparatus.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

- SOLUTION: A probe microscope utilizing near-field light generated in the vicinity of an optical fiber probe 13 is equipped with a distance adjusting mechanism for adjusting the distance between the probe 13 and the surface of a sample 14, a voltage applying means for applying voltage across the probe 13 and the sample 14, an exciting means for applying vibration of predetermined resonance frequency to the probe 13 and a vibration amplitude measuring means for measuring the change in vibration amplitude generated in the probe by the shear force generated by the electric field due to the voltage applied by the voltage applying means or by the approach of the probe 13 and the sample 14.

ABV - 200016

ABD - 20010508

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-4519

(P2001-4519A)

(43) 公開日 平成13年1月12日 (2001.1.12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
G 0 1 N 13/14		G 0 1 N 13/14	A 5 D 1 1 8
G 0 1 B 17/00		G 0 1 B 17/00	Z
G 0 1 N 13/10		G 0 1 N 13/10	G
13/12		13/12	A
13/16		13/16	A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-171933

(22) 出願日 平成11年6月18日 (1999.6.18)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 高橋 淳一

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(74) 代理人 100093920

弁理士 小島 俊郎

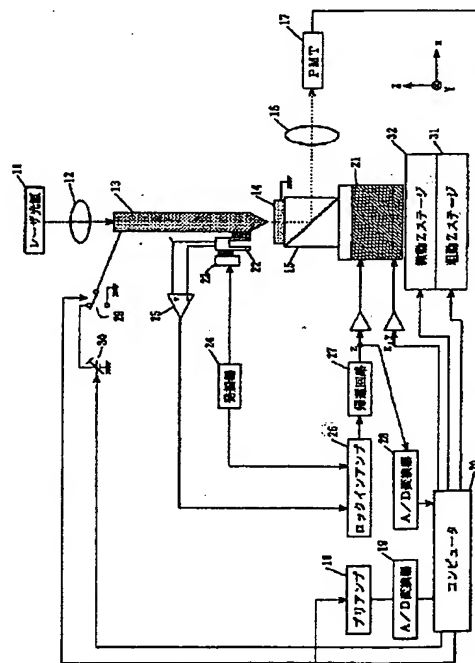
Fターム(参考) 5D118 AA13 CD15 DC10 EA11

(54) 【発明の名称】 プローブ型顕微鏡及び情報記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は探針と試料の衝突が生じず、かつ動作速度の速いプローブ型顕微鏡及び情報記録再生装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 光ファイバのプローブの近傍に発生する近接場光を利用するプローブ型顕微鏡において、プローブと試料の表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブと試料との間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を測定する振動振幅測定手段とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバのプロープの近傍に発生する近接場光を利用するプロープ型顕微鏡において、プロープと試料の表面間の距離を調整する距離調整機構と、プロープと試料との間に電圧を印加する電圧印加手段と、プロープに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、前記電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプロープと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプロープに生ずる振動振幅の変化を測定する振動振幅測定手段とを具備することを特徴とするプロープ型顕微鏡。

【請求項2】 プロープと試料との間に前記電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプロープにおける振動振幅の変化を前記振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて前記距離調整機構を制御してプロープと試料の表面間の距離を所定の位置まで粗動調整し、プロープと試料とが接近したとき発生するシアフォースによるプロープの振動振幅の変化を前記振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて前記距離調整機構を制御してプロープと試料の表面間の距離を微動調整する請求項1記載のプロープ型顕微鏡。

【請求項3】 光ファイバのプロープの近傍に発生するエバネッセント場中に設置されたメディアの記録層に近接場光を利用して情報を記録再生する情報記録再生装置において、プロープとメディアの表面間の距離を調整する距離調整機構と、プロープとメディアとの間に電圧を印加する電圧印加手段と、プロープに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、前記電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプロープと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプロープに生ずる振動振幅の変化を定する振動振幅測定手段とを具備することを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項4】 プロープとメディアとの間に前記電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプロープにおける振動振幅の変化を前記振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて前記距離調整機構を制御してプロープとメディアの表面間の距離を所定の位置まで粗動調整し、プロープとメディアとが接近したとき発生するシアフォースによるプロープの振動振幅の変化を前記振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて前記距離調整機構を制御してプロープとメディアの表面間の距離を微動調整する請求項3記載の情報記録再生装置。

【請求項5】 前記距離調整機構は、プロープと接するように設けられ、かつメディアの表面に摺動可能に設けられ、電圧印加によって生じる圧電効果に伴う変位現象によってプロープとメディアの距離を可変する圧電素子を含んで構成する請求項3又は4に記載の情報記録再生装置。

【請求項6】 前記圧電素子の変位を固定する電荷制御回路を設けた請求項5記載の情報記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプロープ型顕微鏡及び情報記録再生装置に関し、特に情報記録媒体等のメディアに対して相対的に走査される情報記録再生用プロープを用いて高密度の記録・再生を行う情報記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、レーザ光線の高い空間コヒーレント性を利用して、レーザ光線を回折限界まで集光したレーザスポットを用いてメディアに記録し、あるいは情報が記録されたメディアから情報を再生する光ディスク装置がオーディオ用コンパクトディスクやコンピュータ用光磁気ディスクファイルとして実用化されている。これらのメディアへの記録では、その記録密度がレーザ波長でほぼ決定され、最近のメディアの大容量化の要求に応えるために記録密度を更に向上させなければならない。そこで、次世代超高密度光記録メモリとして注目されている一つとして、エバネッセント波を用いて記録・再生するフォトン走査型トンネル顕微鏡（以下P-STMと称す）を応用した光メモリが提案されている。以下に、このP-STMのいくつかの従来例について説明する。

【0003】先ず、特開平7-21564号公報（以下第1の従来例と称す）には、P-STM型光メモリのいかなる操作状況においても常にプロープと記録層との高精度な距離の制御が行える方法および装置が開示されている。この第1の従来例の概略構成を、第1の従来例の概略断面を示す図7によって説明すると、同図に示すように先端部に微小開口部を有する透明体71中を導波する第1の光72が該微小開口部に形成する第1のエバネッセント場73中に光記録媒体75の記録層74を設置し、第1の光72を用いて該光記録媒体75へ情報を記録しあるいは記録情報を再生する。また、光記録媒体75中に第1の光75とは異なる波長の第2の光76を導波させてその導波光が光記録媒体75の表面に形成する第2のエバネッセント波77を透明体71により検出し、これを波長分離手段78を用いて第1の光72による導波光と分離して第2の光の強度を検出することにより制御回路79が透明体71と光記録媒体75との距離を調節可能としている。

【0004】また、特開平7-192280号公報（以下第2の従来例と称す）には、エバネッセント光を利

用した高密度の記録・再生において、トラッキング制御の精度を高め、ディスク状の記録媒体を使用可能にする近視野光走査記録再生装置が開示されている。図8は第2の従来例の概略構成を示す断面図である。同図に示すように、半導体レーザ80から放射させたレーザ光をレンズ81で集束して光ファイバ83に、その開口82を通じて与える。光ファイバ83の先細の先端部に形成された走査ヘッド84は、レーザ光の波長とほぼ同等かそれよりも小さい直径の開口85を突端面に有し、記録面86は開口85に対し相対的に移動する。そして、記録面86から走査ヘッド84を通じて取り出された反射光は光検出器87で検出されてモニタ・出力器88にモニタされる。また、走査ヘッド84に一体的に並設された走査制御ヘッド89は独自の光源たる半導体レーザ90、レンズ系および光電変換素子91を有し、走査ヘッド84を記録面のトラックに位置合わせするためのトラッキングエラー検知信号を発生する。走査ヘッド84はエアースライダ92に固定されており、記録面86が高速で移動することによってわずかに浮上し、その高さを一定に保っている。更に、走査ヘッド84とこれに連なる本体部分との間に、不本意な揺れを吸収させるための緩衝器93を設けている。すなわち、本体部分の垂直方向への揺らぎのダイナミックレンジは走査ヘッド84のそれと大きく異なるので、その差による歪みを緩衝器93で吸収させている。緩衝器93は図示したようなコイル状のばねや、ハードディスク等に用いられている板ばねなどで構成できるが、垂直方向にのみクッション作用を与えるものでなければならず、トラック方向に揺れを生じさせないことが重要である。このように構成すると、本体部分において垂直方向の揺れが生じても、走査ヘッド84の開口85と記録面86との間隔を常に所定値に安定に保持させることができる。

【0005】更に、特開平7-225975号公報（以下第3の従来例と称す）には、プローブを記録媒体表面に沿って走査させながら情報の記録再生を行なう情報記録再生装置等において、実用上十分な速度でのプローブ走査を実現する装置が開示されている。図9は第3の従来例の概略構成を示す図である。同図に示すように、光源101から出射した直線偏光の光束は、偏波面保存型光ファイバ102を通り、光の波長よりも小さな微小開口部104を有する金属マスク103を経てエバネッセント波の形態をとる。ここで、金属マスク103、光磁気記録媒体105は導体であるので、その双方に電極を取り付けて容量距離センサ130に接続することにより、両者間の容量 $c$ から距離 $d$ を感知することができる。その効果としては、金属マスク103の光磁気記録媒体105に正対した部分の面積が微小開口部104の面積に比べて大きいので、高精度かつ高帯域な距離 $d$ の情報を得ることができる。この距離 $d$ の情報をアクチュエータ114に帰還させて微小開口部104の位置を制

御することにより、高速プローブ走査が可能になる。なお、再生時では、透明基板106を伝播した光がレンズ107で集光され、この光の偏波面回転成分をアナライザ117によって抽出し、レンズ118で集光したものを光検出器119で検出することにより、微小開口部104近傍の光磁気記録媒体105の磁化情報 $m$ を検出する。検出した磁化情報 $m$ はコントロール110に送られてデジタル情報化される。

【0006】また、特開平10-172172号公報（以下第4の従来例と称す）には、光プローブの形状のばらつきや経時変化などの光プローブの分解能を変化させる原因があっても、所定の記録密度を維持する手段を備えた高密度情報記録再生装置が開示されている。図10は第4の従来例の概略構成を示す図である。同図に示すように、記録媒体150上に異なる周期を有する周期パターン151、152を設け、これらの周期パターン151、152を光プローブ153で検出し、得られる信号を周波数分析して比較し、光プローブ153と記録媒体150との間隔を検出する。空間周波数と光量変化の基本波成分との特性を示す図11に示すように、距離 $H$ が大きいと高い空間周波数の成分が小さくなりこれから距離 $H$ を測定できる。

【0007】更に、「Khaled Karrai, et al, "Piezoelectric tip-sample distance control for near field optical microscopes", pp.1842, Applied Physics Letters 66(14), 3 April 1995」（以下第5の従来例と称す）によれば、この従来例のFig. 1に示すように、プローブが水晶振動子の片方の片持ち梁に接着され、図中の左側の水晶振動子で、X方向に図示されていない圧電素子により水晶振動子はその共振周波数で加振される。試料表面がプローブ先端に近づくと試料表面とプローブ先端に原子間力に基づくせん断応力（シアフォース）が働く。この力が試料表面とプローブ先端間のばねとして働き、この振動系全体の共振周波数が変化する。しかし、圧電素子により、加振されている周波数は以前と変わらないので、振動系全体は共振状態から外れ、これにより振動の振幅は小さくなる。振幅は水晶振動子の圧電効果により生じる電圧から知ることができる。以上のようにして、プローブ先端と試料表面間の距離を振動の振幅から知ることができる。測定開始時に、まず最初はストロークが大きい距離制御の精度の低いアクチュエータ（例えばステッピングモータ）により振動振幅を常に監視しつつプローブを試料表面に近づける。振幅が小さくなったところで、アクチュエータを停止する。更に、微動のアクチュエータ（圧電素子など）により、プローブ先端と試料表面間の距離が所望の距離になるように両者を接近させて測定を始める。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】第1の従来例は、近接場光により記録媒体上に情報を記録再生しようとするも

のであり、これにより大容量の記憶装置とするものである。ここでは、記録媒体表面のごく近傍数十nmに発生しているエバネッセント光(近接場光)によりプローブ先端と試料表面間の距離を測定する。したがって、両者間が数十nmにならないと両者の接近を知ることができず、シアフォースによる距離検出と同じく、エバネッセント光が検知されるまでのアプローチを非常にゆっくりとしないとプローブが記録媒体表面に衝突する可能性が高い。また、アプローチをゆっくりすると、アプローチに時間がかかり、記録装置としての読み出し、書き込み時間が非常にかかり動作が遅い装置となってしまう。つまり、第1の従来例ではプローブの破壊防止と速い動作の両立ができない。また、記録再生を行う光源以外にプローブ先端と記録媒体表面間の距離を測定するための別な波長の光源が必要であるため、構成が複雑となりコスト高や故障が増えてしまう。

【0009】また、第2の従来例は、走査ヘッド9(ファイバプローブ)とスライダ22間に緩衝器を設け、スライダの不要な振動を吸収し、走査ヘッドのメディア間の間隔を所定値に安定に保持させるようにしているが、スライダがメディアから離れた時に先の間隔を一定にするということはスライダ底辺よりもヘッド先端が突出することがある。すなわち、スライダがメディアから離れ続いて近づく時緩衝器による吸収(今度はヘッドを引っ込ませる)する動作が間に合わない場合があり、ヘッドは、メディアに衝突することとなる。よって、第2の従来例によれば、このようにヘッドが破損する危険性が高い。

【0010】更に、第3の従来例は、元々プローブ側面からの光の漏れを防止するための遮光金属膜(従来技術内では金属マスク)の500nm×500nmと大きくし、これと導電性の記録媒体間の静電容量を測定することにより両者間の距離を測定するものである。静電容量は比較的遠方からも検出することができるので、シアフォースやエバネッセント光を用いた場合よりも改善される。しかし、プローブ先端は非常に面積が小さいために静電容量は非常に微少になり、浮遊容量等により実際の測定は非常に困難である。また、感度を高めるためにプローブ先端の金属膜の面積を大きくする必要がある。一般的に厚いマスク金属膜(厚さ500nm以上)を持つプローブに微少な開口(直径50nm以下)のプローブを作製することは困難になる。更に、たとえできたとしても記録媒体とプローブ先端の金属面には表面の凹凸があるので、金属膜と媒体表面間の距離は最適にできたとしても、開口と媒体表面の距離は金属面の凹凸により必ずしも最適にはならない。特に、金属膜の膜厚、すなわち媒体表面に平行な面で考えれば面積が大きくなればこの確立は著しく高くなる。また、第3の従来例ではメディアとプローブ間の距離を両者間の静電容量で測定し、これから両者間の距離を調整するアクチュエータを制御

し、距離を一定にする。しかし、高速に回転しているメディアに対してはこの帰還動作が間に合わないことが多く、プローブとメディアが衝突する。

【0011】また、第4の従来例は、プローブ先端と記録媒体表面の距離を測定するために記録媒体に空間周波数の異なるパターンを設ける必要があり、記録密度が低くなる。また得られた信号を周波数分析する必要がある、これらの処理に時間がかかり、充分なスピードで、距離を制御することができず、衝突の可能性が高い。また、メディアを動かしながらプローブとメディア間の間隔測定を行わなければいけないので間隔を一定に制御することを失敗した時のダメージが大きい。

【0012】更に、第5の従来例では、測定の最初にプローブと試料表面を接近させる(アプローチ)シーケンスにおいて、両者間の距離をシアフォースにより検出していて、これをもとに粗動アクチュエータを停止させる。シアフォースは両者間の距離が数十nm以下にならないと働かない。したがって、粗動アクチュエータによりプローブを試料表面に接近させる速度を遅くしないと、アプローチ時の停止動作が間に合わず、プローブと試料表面が衝突し、プローブが破壊することになる。粗動アクチュエータの移動速度を遅くするとアプローチに時間がかかってしまい、測定の効率が著しく悪くなる。

【0013】本発明はこれらの問題点を解決するためのものであり、探針と試料の衝突が生じず、かつ動作速度の速いプローブ型顕微鏡及び情報記録再生装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明に係る、光ファイバのプローブの近傍に発生する近接場光を利用するプローブ型顕微鏡は、プローブと試料の表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブと試料との間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を測定する振動振幅測定手段とを具備する。このような構成を有する本発明のプローブ型顕微鏡は、先ずプローブと試料との間に電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプローブにおける振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定する。その測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブと試料の表面間の距離を所定の位置まで粗動調整して互いに接近させる。その後、電圧印加をやめるか、あるいは一定に保った状態で、プローブと試料とが接近したとき発生する近接場によるプローブの振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブと試料の表面間の距離を更に急接近可能とする微動調整を行う。よって、プローブと試料が衝突することない、動



作速度の速いプローブ型顕微鏡を提供できる。

【0015】また、別の発明に係る、光ファイバのプローブの近傍に発生するエバネッセント場中に設置されたメディアの記録層に近接場光を利用して情報を記録再生する情報記録再生装置は、プローブとメディアの表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブとメディアとの間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を定する振動振幅測定手段とを具備する。このような構成を有する情報記録再生装置は、まずプローブとメディアとの間に電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプローブにおける振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定する。その測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブとメディアの表面間の距離を所定の位置まで粗動調整して互いに接近させる。その後、プローブとメディアとが接近したとき発生する近接場によるプローブの振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブとメディアの表面間の距離を更に急接近可能とする微動調整を行う。よって、プローブ先端とメディア間の衝突が少なく、かつ動作速度の速い装置を実現できる。

【0016】更に、情報記録再生装置の距離調整機構は、プローブと接するように設けられ、かつメディアの表面に摺動可能に設けられ、電圧印加によって生じる圧電効果に伴う変位現象によってプローブとメディアの距離を可変する圧電素子を含んで構成している。よって、回転するメディアの変動に対応してプローブとメディアの間の距離を一定に保つことができる。

【0017】また、情報記録再生装置の距離調整機構における圧電素子に電荷制御回路を設けたことにより、圧電素子に生じるクリープ現象を防ぎ、圧電素子の変位を一定に保つことができ、強いてはプローブとメディアの間の距離を一定に保つことができる。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明のプローブ型顕微鏡は、プローブと試料の表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブと試料との間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を測定する振動振幅測定手段とを具備する。

【0019】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例の概略構成を示す図である。同図において、レーザ光源11はカップリ

ングレンズ12によりファイバからなるプローブ13の端面に集光されてファイバからなるプローブ13のコア内に入る。その光は先端が先鋭化されているプローブ13の先端のごく近傍(数十nm)に近接場光として存在する。試料14の表面をプローブ13の先端から数十nm以下の距離に近づけるとプローブ先端から染み出している近接場光は試料に伝播し、プリズム15、カップリングレンズ16を通してフォトマルチプライアチューブ(以下PMTと称す)17に入る。PMT17は入射した光を電気信号に変換し、プリアンプ18、A/D変換器19を通してコンピュータ20に試料14の透過率のデジタル情報を供給して貯えられる。円筒圧電スキャナ21によりx, yにラスタスキャンを行いながら、これに同期してコンピュータ20は、先の情報を記憶していくので、2次元の透過率の分布像を作成することができる。

【0020】ここでは、試料14の表面とプローブ先端との間隔は数十nmにしなければならない。実際の試料は凹凸があるのが普通なので、この間隔を一定にするように制御を行う必要がある。このため、試料14の表面とプローブ13の先端に原子間力に基づくせん断応力(シアフォース)や静電引力を利用する。プローブ13は水晶振動子22の片方の片持ち梁に接着されている。水晶振動子22は互いに接する圧電素子23によりその共振周波数で加振される。試料14の表面がプローブ13の先端に近づくとき試料14の表面とプローブ13の先端に原子間力に基づくシアフォースや静電引力が働く。この力が試料14の表面とプローブ13の先端間のばねとして働き、この振動系全体の共振周波数が変化する。しかし、圧電素子23により、加振されている周波数は以前と変わらないので、振動系全体は共振状態から外れ、これにより振動の振幅は小さくなる。水晶振動子22に生じる電圧は差動増幅器25で増幅され、ロックインアンプ26に入力される。ロックインアンプ26は振動周波数に同期して水晶振動子22の振幅を直流電圧に増幅・変換する。帰還回路27は所望のプローブ13と試料14の表面間の距離に対応する参照信号との差を積分、あるいは高いゲインで増幅し、円筒ビエゾのZ方向に試料14を移動させるアクチュエータを駆動する。

【0021】このような帰還動作によりプローブ13と試料14の表面の間隔は一定に保たれる。帰還回路27の電圧を、A/D変換器28を介してコンピュータ20に取り込めば先の透過像と同様に試料14の表面の凹凸像(トポ像)を作成することができる。試料14をセッティングする時はプローブ13と試料14が接触しないようにプローブ13は試料14から遠くに離しておく。

【0022】さて、このような測定を始める前に、プローブ13と試料14の表面を近づける作業が必要である。先に述べたように、プローブ13と試料14の表面間の距離をシアフォースのみで知ろうとすると、両者の

距離が数十nmに近づくまで、試料14の表面のプロープ13への接近を知ることができない。これにより衝突が生じ易い。そこで、本実施例では、プロープ13と試料14の表面間に電位差を生じさせることによりこれを解決する。その前提として、プロープ13はその先端まで導電性のものであることと、試料14もまた導電性のものであることである。近接場光測定に用いられるファイバプロープはクラッドからの光の放出がノイズとなるため、これを防ぐために、ファイバクラッド上に金属コートを実施している。一般的に前者の条件は満たしている。また、試料14も半導体を用いる集積回路、メモリディスクに用いられる光磁気材料、相変化材料などは導体または半導体であり比抵抗が低いので、多くの場合、後者の条件も満たしている。コンピュータ20で制御できるスイッチ29を設ける。まずスイッチ29により電圧Vaの電圧可変供給器30とファイバプロープの金属遮光膜を接続する。金属膜はファイバ全体に付着させることができるので、ファイバプロープの根元に電圧Vaの電圧可変供給器30を接続することでファイバ先端に電圧を印加することができる。試料14は基準電位に接続(接地)させておく。このようにしておくこととファイバ先端の金属膜と試料14の表面間に電圧Vaが印加される。したがって、両者の間に静電引力が働く。静電引力は電圧Vaの2乗に比例し、プロープ13と試料14の表面間の距離dの2乗に逆比例する。

【0023】一方、原子間力すなわちシアフォースはプロープ13と試料14の表面間の距離dの指数関数で減少する。したがって、静電引力は距離に対する減衰がシアフォースに比べて遥かに緩やかであるため、プロープ13と試料14の表面間の距離が大きくても両者の接近を水晶振動子22の振幅の減少として捉えることができる。この距離は電圧Vaの値にもよるが、数十Vの場合、プロープ13と試料14の表面間の距離が数十 $\mu\text{m}$ 程度でも水晶振動子22の振幅減少を捉えることができる。どの程度のプロープ13と試料14の表面間の距離から、両者の接近を捉えるかは、電圧Vaにより調整可能である。より遠くから両者の接近を捉えたい場合は電圧Vaを大きくすればよい。測定開始時に、まず最初はストロークが大きい距離制御の精度の低いアクチュエータ(例えばステッピングモータ)により振動振幅を常に監視しつつプロープを試料14の表面に近づける。振幅が小さくなったところで、アクチュエータを停止する。さらに、微動のアクチュエータ(圧電素子など)により、プロープ13の先端と試料14の表面間の距離が所望の距離になるように両者を接近させ、この後、測定を始める。

【0024】例えば、Vaを20V程度にし、粗動ステージ31により試料14をプロープ13に接近させる。粗動ステージ31はステッピングモータなどを用いた機械的なステージで、ストロークは数ミリ程度、1ステッ

プで20nmから1 $\mu\text{m}$ 程度の物を用いる。プロープ13と試料14の表面間の距離が20 $\mu\text{m}$ ぐらいになるとプロープ13と試料14の表面間の静電引力により水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータ20が捉えて粗動ステージ31の移動を停止する。20 $\mu\text{m}$ 程度からプロープ13と試料14の表面の接近を検知し停止させれば、検知から停止までの間の粗動ステージ31のオーバーランによりプロープ13と試料14の表面が衝突することはない。したがって、比較的速い速度(数 $\mu\text{m/s}$ )で最初のアプローチを行うことができる。次に、更なるアプローチを行うために、Vaを5V程度にするこれにより、1 $\mu\text{m}$ 程度までプロープ13と試料14の表面が接近するとプロープ13と試料14の表面間の静電引力により水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータ20が捉えて粗動ステージ31の移動を停止する。この時は0.数 $\mu\text{m/s}$ 程度の速度でアプローチさせる。この時はアプローチの速度が前の段階より遅くなっているため、オーバーランが少なくなる。したがって、停止時のプロープ13と試料14の表面間の距離が小さくなくても両者が衝突することはない。更に、今度はスイッチ29を接地側に切り替える。これによりプロープ13と試料14の表面間の電位差はなくなり、両者には静電引力は働かなくなる。この後、微動ステージ32により数十nm/sの速度でプロープ13と試料14の表面を接近させる。数十nm程度までプロープ13と試料14の表面が接近するとプロープ13と試料14の表面間のシアフォースにより水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータ20が捉えて微動ステージ32の移動を停止する。この時もプロープ13と試料14の表面間の距離の衝突は先に述べたことと同じ理由により生じることはない。

【0025】このように、プロープ13と試料14の表面間の距離が大きい時は速いスピードで両者を接近させつつ、静電引力を用いてプロープと試料表面間の距離が大きい段階から両者の接近を捉えることにより衝突を防ぐことができる。プロープ13と試料14の表面間の電位差と接近速度を段階的に小さくして、以上のシーケンスを行うことができる。最後のアプローチでは両者の電圧印加をなくしてシアフォースによるプロープ13と試料14の表面間の距離検出を行ってアプローチを終了する。

【0026】従来のシアフォースだけのプロープと試料表面間の距離検出の場合は、数十nmに接近してからでないと両者の接近を検知できないので、アプローチの最初から数十nm/sの非常にゆっくりとした速度でアプローチを行う必要があり、測定開始までに非常に時間がかかった。しかし、本実施例により、プロープと試料表面間の距離に対応した接近速度を選ぶことができるので、測定開始までの時間を短縮することができる。

【0027】なお、第1の実施例では最後のアプローチ

で、プローブと試料表面間の電位差をなくしていたが、このような方法に限定されるものでない。例えば、最後のアプローチにおいて、一つ前のアプローチの段階での電圧よりも更に電圧を下げ、電圧を印加したままで静電引力を働かせ、アプローチを終了させることもできる。そして、電圧を印加し、静電引力を検出しながらプローブと試料表面間の距離を一定に保ちながら測定を行うことができる。また、最後のアプローチにおいて、一つ前のアプローチの段階での電圧よりも更に電圧を下げなくても同様の動作・測定を行うことができる。

【0028】図2は本発明の第2の実施例の概略構成を示す図である。同図において、レーザ光源11は連続発振していてその光はカップリングレンズ12によりファイバからなるプローブ13の端面に集光されてプローブ13のコア内に入る。その光は先端が先鋭化されているプローブ13の先端のごく近傍(数十nm)に近接場光として存在する。メディア41はスピンドルモータ42により回転させられる。メディア41の表面には透過率のコントラストを持つ領域(マーク)により情報が記録されている。プローブ13の先端をメディア41の表面から数十nm以下の距離に近づけるとプローブ13の先端から染み出している近接場光は試料に伝播し、先のマークの透過率に対応したパワーを持つ透過光がメディア41のプローブ13側と反対側に出てくる。この光はカップリングレンズ16を通してPMT17に入る。PMT17は入射した光を電気信号に変換し、この信号はプリアンプ18で増幅された後、2値化回路43でデジタル情報に変換され、コンピュータ20に入力され、メディア41上の情報が読み取られる。メディア41はプローブ13と相対運動をしているので、円周方向に並んでいるマークに記録されている情報が時系列にコンピュータに蓄えられていく。メディア41が書き込み可能なものであれば、同じようにデータを書き込むこともできる。必要な書き込みパルスがコンピュータ20によりLDドライバ44に与えられ、これがレーザ光源11を駆動して、メディア41の表面に情報を書き込んでいく。ここでは、メディア41の表面とプローブ13の先端との間隔は数十nmにしなければならない。実際のメディア41は凹凸があるし、メディア41も回転に伴い面ぶれを起こして上下するのが普通なので、この間隔を一定にするように制御を行う必要がある。

【0029】このため、メディア41の表面とプローブ13の先端に原子間力に基づくシアフォースや静電引力を利用する。プローブ13は水晶振動子22の片方の片持ち梁に接着されている。水晶振動子22はL字型のホルダ45を介して積層圧電素子46に接続されている。積層圧電素子46は耐摺動パッド47の上に接続されている。耐摺動パッド47はメディア41の表面に接触している。メディア41が回転すると、メディア41上を耐摺動パッド47が摺動し、メディア41とプローブ1

3間で相対運動が生じる。積層圧電素子46はこれに電圧が印加されるとZ方向に伸び縮みするので、プローブ13とメディア41表面間の距離を変えることができる。水晶振動子22は互いに接する圧電素子23によりその共振周波数で加振される。メディア41の表面がプローブ13の先端に近づくとメディア41の表面とプローブ13の先端に原子間力に基づくシアフォースや静電引力が働く。この力がメディア41の表面とプローブ13の先端間のばねとして働き、この振動系全体の共振周波数が変化する。

【0030】しかし、圧電素子23により、加振されている周波数は以前と変わらないので、振動系全体は共振状態から外れ、これにより振動の振幅は小さくなる。水晶振動子22に生じる電圧は差動増幅器25で増幅され、ロックインアンプ26に入力される。ロックインアンプ26は振動周波数に同期して水晶振動子22の振幅を直流電圧に増幅・変換する。ロックインアンプ26の出力はA/D変換器28を介してコンピュータ20に取り込まれる。

【0031】そして、コンピュータ20は所望のプローブ13とメディア41の表面間の距離に対応する基準値との差から、プローブ13とメディア41の表面間の距離を制御する数値を計算して出力する。D/A変換器48でこの出力値がアナログ電圧に変換された後、パワーアンプにより増幅されて、積層圧電素子46に入力される。これにより、プローブ13とメディア41の表面間の距離がコンピュータ20により制御される。耐摺動パッド47も含めてその上に搭載されているものをスライダと呼ぶ。スライダは図示しないサスペンション、アーム、アームモータを介してスピンドルモータ42が固定されている基板に固定されている。但しスライダは図示していないアームモータによりトラッキング方向には移動できる。また、サスペンションによりZ方向に上下できる。しかし、サスペンションにより、適当な力で、メディア41の表面にスライダは押しつけられていて、耐摺動パッド47はメディア41の表面に接触している。

【0032】以上のような情報記録再生装置が待機状態にある時は、プローブとメディアが接触しないようにプローブはメディアから遠くに離しておく。さて、先に述べた書き込みあるいは読み取り動作を始める前に、プローブとメディア表面を近づける作業が必要である。先に述べたようにプローブとメディア表面間の距離をシアフォースのみで知ろうとすると、両者の距離が数十nmに近づくまで、メディア表面のプローブへの接近を知ることができない。これにより衝突が生じ易い。そこで、本実施例では、プローブとメディア表面間に電位差を生じさせることによりこれを解決する。その前提として、プローブはその先端まで導電性のものであることとメディアもまた導電性のものであることである。近接場光測定

に用いられるファイバプローブはクラッドからの光の放出がノイズとなるためこれを防ぐために、ファイバクラッド上に金属コートを実施している、一般的に前者の条件は満たしている。また、メディアも光磁気材料、相変化材料などは導体または半導体であり比抵抗が低いので、多くの場合、後者の条件も満たしている。

【0033】そこで、コンピュータで制御できるスイッチ29を設ける。まず、スイッチ29により電圧Vaとファイバプローブの金属遮光膜を接続する。金属膜はファイバ全体に付着させることができるので、ファイバプローブの根元に電圧Vaを印加することでプローブ13の先端に電圧を印加することができる。メディア41はスピンドルモータ軸を介して、基準電位に接続(接地)させておく。このようにしておくことでプローブ13の先端の金属膜とメディア41の表面間に電圧Vaが印加される。したがって、両者の間に静電引力が働く。静電引力は電圧Vaの2乗に比例し、プローブ13とメディア41の表面間の距離dの2乗に逆比例する。一方、原子間力すなわちシアフォースはプローブ13とメディア41の表面間の距離dの指数関数で減少する。したがって、静電引力は距離に対する減衰がシアフォースに比べて速かに緩やかであるため、プローブ13とメディア41の表面間の距離が大きくても両者の接近を水晶振動子の振幅の減少として捉えることができる。この距離は電圧Vaの値にもよるが、数十Vの場合、プローブ13とメディア41の表面間の距離が数十 $\mu\text{m}$ 程度でも水晶振動子22の振幅減少を捉えることができる。どの程度のプローブ13とメディア41の表面間の距離から、両者の接近を捉えるかは、電圧Vaにより調整可能である。より遠くから両者の接近を捉えたい場合は電圧Vaを大きくすればよい。待機時は、スライダはメディア41の上に接触している。この時、スピンドルモータ42は回転または停止している。プローブ13とメディア41の表面が接触する危険性を考えると停止している方が好ましい。

【0034】書き込み・読み取りを行う前に、プローブ13とメディア41間に電圧を印加した状態で、圧電素子23により水晶振動子22、プローブ13を共振周波数で加振し、水晶振動子22の出力からプローブ13の振動振幅を常に監視しつつ、ランプレートの速い電圧を積層圧電素子45に印加して速いスピードで、プローブ13をメディア41の表面に近づける。振幅が小さくなったところで、積層圧電素子45の電圧をホールドしてプローブ13とメディア41の表面を接近させることを停止する。更に、プローブ13とメディア41間に電位差をなくし、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピードで微動のアクチュエータ(圧電素子など)により、プローブ13の先端とメディア41の表面間の距離が所望の距離になるように両者を接近させ、この後、書き込み・読み取りを始める。一例とし

て、待機時は、プローブ13の先端と耐摺動パッド46の表面(パッドはメディア表面に接触するので、メディア表面と同じ高さになる)が約0.5 $\mu\text{m}$ になるように予めスライダを作製しておく。

【0035】そして、例えば、Vaを2V程度にし、水晶振動子22の出力からプローブの振動振幅を常に監視しつつ、ランプレートの速い電圧を積層圧電素子46に印加して速いスピードでプローブ13とメディア41の表面を接近させる。プローブ13とメディア41の表面間の距離が200nmぐらいになるとプローブ13とメディア41の表面間の静電引力により水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子46の電圧をホールドしてプローブ13とメディア41の表面を接近させることを停止する。200nm程度からプローブ13とメディア41の表面の接近を検知し停止させれば、検知から停止までの間のオーバーランによりプローブ13とメディア41の表面が衝突することはない。したがって、比較的速い速度(約0.1 $\mu\text{m/s}$ )で最初のアプローチを行うことができる。

【0036】そして、今度はスイッチ29を接地側に切り替える。これによりプローブ13とメディア41の表面間の電位差はなくなり、両者には静電引力は働かなくなる。この後、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピード(約10nm/s)でプローブ13の先端とメディア41の表面を接近させていく。数十nm程度までプローブ13とメディア41表面が接近するとプローブ13とメディア41の表面間のシアフォースにより水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。所望の距離まで両者が近づいたところで、これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子46の変位を停止する。この時はアプローチの速度が前の段階より遅くなっているため、オーバーランが少なくなる。したがって、停止時のプローブ13とメディア41の表面間の距離が小さくなくても両者が衝突することはない。この後、書き込み・読み取りを始める。

【0037】このように、プローブ13とメディア41の表面間の距離が大きい時は速いスピードで両者を接近させつつ、静電引力を用いてプローブ13とメディア41の表面間の距離が大きい段階から両者の接近を捉えることにより衝突を防ぐことができる。プローブ13とメディア41の表面間の電位差と接近速度を段階的に小さくして、以上のシーケンスを行うことができる。最後のアプローチでは両者の電圧印加をなくしてシアフォースによるプローブ13とメディア41の表面間の距離検出を行ってアプローチを終了する。

【0038】従来のシアフォースだけのプローブ13とメディア41の表面間の距離検出の場合は、数十nmに接近してからでないと両者の接近を検知できないので、アプローチの最初から数十nm/sの非常にゆっくりと

した速度でアプローチを行う必要があり、書き込み・読み取り動作の開始までに非常に時間がかかった。しかし、先に述べた方法により、プローブ13とメディア41の表面間の距離に対応した接近速度を選ぶことができるので、書き込み・読み取り開始までの時間を短縮することができる。積層圧電素子としては数十Vで500 $\mu$ m程度の変位を得るために、厚さ2mm程度で20~30層程度の積層数のものを用いる。電圧を印加すると積層圧電素子45の厚さが増えるタイプのものでもよいが、待機時や、電源off時にプローブ13とメディア41の表面間の距離が大きくなるようにするために、電圧を印加すると厚みが減るタイプを用いることが好ましい。

【0039】上述の第1の実施例では最後のアプローチで、プローブ13と試料14の表面間の電位差をなくしていたが、第2の実施例はこのような方法に限定されるものでない。第2の実施例として、例えば、最後のアプローチにおいて、一つ前のアプローチの段階での電圧よりも更に電圧を下げ、電圧を印加したままで静電引力を働かせ、アプローチを終了させることもできる。そして、電圧を印加し、静電引力を検出しながらプローブ13とメディア41の表面間の距離を一定に保ちながらメディアへの書き込み・読み取りを行うことができる。また、最後のアプローチにおいて、一つ前のアプローチの段階での電圧よりも更に電圧を下げなくても同様の動作を行うことができる。

【0040】図3は本発明の第3の実施例の概略構成を示す図である。ここで、第2の実施例ではプローブと試料表面間の距離を常に帰還制御によって一定にしていたが、実際にはメディア41は高速に回転しているので望ましくない振動が生じ、帰還制御が暴走したりして、プローブ13とメディア41の表面が衝突してしまうことがある。そこで、第3の実施例では、待機状態で、プローブとメディア表面間の距離を決め、書き込み・読み取り時はプローブとメディアの表面間の距離を固定した状態で、帰還制御を行わずに書き込み・読み取りを行う。本実施例では静電引力によりプローブ13とメディア41の表面間の距離検出は行わない。

【0041】まず、待機時において、スライダはメディア41の上に接触している。この時、スピンドルモータ42は回転または停止している。プローブ13とメディア41の表面が接触する危険性を考えると停止している方が好ましい。この時、プローブ13の先端と耐摺動パッド47の表面(パッドはメディア表面に接触するので、メディア表面と同じ高さになる)が約0.5 $\mu$ mになるように予めスライダを作製しておく。この後、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピード(約10nm/s)でプローブ13の先端とメディア41の表面を接近させていく。数十nm程度までプローブ13とメディア41の表面が接近するとプロ

ブ13とメディア41の表面間のシアフォースにより水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。所望の距離まで両者が近づいたところで、これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子46の変位を停止する。ここで、帰還制御を停止し、先の停止時の状態で積層圧電素子46の厚みを固定する。つまりプローブ13とメディア41の表面間の距離を固定する。ここで重要なことは、積層圧電素子45はこれに印加する電圧を増減させ、変位を生じさせると、その後、電圧を一定にしても変位がゆっくりと変化してしまう、いわゆるクリープ現象が起きてしまうことである。これが生じると、いったん積層圧電素子46の位置(厚み)、すなわちプローブ13とメディア41の表面間の距離を決めても、これが変化してしまう。これを防止するため、電荷制御回路51、あるいは定電流回路を用いた電荷制御による線形制御方式を用いる。あるいは、積層圧電素子46に直列に適当な容量のコンデンサを接続してもよい。これにより、積層圧電素子46の変位は固定され、よってプローブ13とメディア41の表面間の距離も固定される。この後、書き込み・読み取りを行うのであるが耐摺動パッド47がメディア41の表面に接触しサスペンションによって一定の力で押し付けられているので、書き込み・読み取りの動作中もプローブ13とメディア41の表面間の距離が変わることはない。帰還動作がないので、これが暴走したりして、プローブ13とメディア41の表面が衝突してしまうことがない。

【0042】図4は本発明の第4の実施例の概略構成を示す図である。ここで、第2の実施例ではプローブと試料表面間の距離を常に帰還制御によって一定にしていたが、実際にはメディア41は高速に回転しているので望ましくない振動が生じ、帰還制御が暴走したりして、プローブとメディア41の表面が衝突してしまうことがある。そこで、本実施例では待機状態で、プローブ13とメディア41の表面間の距離を決め、書き込み・読み取り時はプローブとメディア41の表面間の距離を固定した状態で、帰還制御を行わずに書き込み・読み取りを行う。基本的構成は第3の実施例と同じだが、ここでは静電引力によりプローブ13とメディア41の表面間の距離検出を行う。レーザ光源11は連続発振していてその光はカップリングレンズ12によりファイバからなるプローブ13の端面に集光されてプローブ13のコア内に入る。その光は先端が先鋭化されているプローブ13の先端のごく近傍(数十nm)に近接場光として存在する。メディア41はスピンドルモータ42により回転させられる。メディア41の表面には透過率のコントラストを持つ領域(マーク)により情報を記録されている。プローブ13の先端をメディア41の表面から数十nm以下の距離に近づけるとプローブ13の先端から染み出している近接場光はメディア41に伝播し、先のマークの透過率に対応したパワーを持つ透過光がメディア



41のプロープ側と反対側に出てくる。この光はカップリングレンズ16を通してPMT17に入る。PMT17は入射した光を電気信号に変換し、プリアンプ18で増幅された後、2値化回路42でデジタル情報に変換され、コンピュータ20に供給され、メディア41上の情報が読み取られる。メディア41はプロープ13と相対運動をしているので、円周方向に並んでいるマークに記録されている情報を時系列にコンピュータ20に蓄えられていく。メディア41が書き込み可能なものであれば、同じようにデータを書き込むこともできる。必要な書き込みパルスがコンピュータ20によりLDドライバ43に与えられ、これがレーザ光源11を駆動して、メディア41表面に情報を書き込んでいく。プロープ41は水晶振動子22の片方の片持ち梁に接着されている。水晶振動子22は互いに接する圧電素子23及びし字型のホルダ45を介して積層圧電素子46に接続されている。積層圧電素子46は耐摺動パッド47の上に接続されている。耐摺動パッド46はメディア41の表面に接触している。メディア41が回転すると、メディア41上を耐摺動パッド46が摺動し、メディア41とプロープ13間で相対運動が生じる。積層圧電素子46はこれに電圧を印加するとZ方向に伸び縮みするので、プロープ13とメディア41表面間の距離を変えることができる。水晶振動子22は互いに接する圧電素子23によりその共振周波数で加振される。メディア41の表面がプロープ13の先端に近づくときメディア41の表面とプロープ13の先端に原子間力に基づくせん断応力(シアフォース)や静電引力が働く。この力がメディア41の表面とプロープ13の先端間のばねとして働き、この振動系全体の共振周波数が変化する。しかし、圧電素子23により、加振されている周波数は以前と変わらないので、振動系全体は共振状態から外れ、これにより振動の振幅は小さくなる。水晶振動子22に生じる電圧は差動増幅器25で増幅され、ロックインアンプ26に入力される。ロックインアンプ26は振動周波数に同期して水晶振動子22の振幅を直流電圧に増幅・変換する。ロックインアンプ26の出力はA/D変換器28を介してコンピュータ20に取り込まれる。コンピュータ20は所望のプロープ13とメディア41の表面間の距離に対応する基準値との差をから、プロープ13とメディア41の表面間の距離を制御する数値を計算して出力する。D/A変換器47でこの出力値がアナログ電圧に変換された後電荷制御回路51を介して積層圧電素子に入力される。これにより、プロープ13とメディア41の表面間の距離がコンピュータ20により制御される。スライダは図示しないサスペンション、アーム、アームモータを介してスピンドルモータ42が固定されている基板に固定されている。但しスライダはアームモータによりトラッキング方向には移動できる。またサスペンションによりZ方向に上下できる。しかし、サスペンションによ

り、適当な力で、メディア41の表面にスライダは押し付けられていて、耐摺動パッド47はメディア41の表面に接触している。

【0043】以上のような情報記録再生装置が待機状態にある時は、プロープ13とメディア41が接触しないようにプロープ13はメディア41から遠くに離しておく。さて、前述の書き込みあるいは読み取り動作を始める前に、プロープ13とメディア41表面を近づける作業が必要である。先に述べたようにプロープ13とメディア41の表面間の距離をシアフォースのみで知ろうとすると、両者の距離が数十nmに近づくまで、メディア41の表面のプロープ13への接近を知ることができない。これにより衝突が生じ易い。そこで、本実施例では、プロープ13とメディア41の表面間に電位差を生じさせることによりこれを解決する。その前提として、プロープ13はその先端まで導電性のものであることとメディア41もまた導電性のものであることである。近接場光測定に用いられるファイバからなるプロープ13はクラッドからの光の放出がノイズとなるため、これを防ぐために、ファイバクラッド上に金属コートを施している。一般的に前者の条件は満たしている。また、メディアも光磁気材料、相変化材料などは導体または半導体であり比抵抗が低いので、多くの場合、後者の条件も満たしている。

【0044】そこで、コンピュータ20で制御できるスイッチ29を設ける。まずスイッチ29により電圧Vaとファイバからなるプロープ13の金属遮光膜を接続する。金属膜はファイバ全体に付着させることができるので、ファイバからなるプロープ13の根元に電圧Vaを供給することでプロープ13の先端に電圧を印加することができる。メディア41はスピンドルモータ軸を介して、基準電位に接続(接地)させておく。このようにしておくときファイバ先端の金属膜とメディア41の表面間に電圧Vaが印加される。したがって、両者の間に静電引力が働く。静電引力は電圧Vaの2乗に比例し、プロープとメディア表面間の距離dの2乗に逆比例する。一方、原子間力すなわちシアフォースはプロープ13とメディア41の表面間の距離dの指数関数で減少する。したがって、静電引力は距離に対する減衰がシアフォースに比べて遥かに緩やかであるため、プロープ13とメディア41の表面間の距離が大きいても両者の接近を水晶振動子22の振幅の減少として捉えることができる。この距離は電圧Vaの値にもよるが、数十Vの場合、プロープ13とメディア41の表面間の距離が数十μm程度でも水晶振動子22の振幅減少を捉えることができる。どの程度のプロープ13とメディア41の表面間の距離から、両者の接近を捉えるかは、電圧Vaにより調整可能である。より遠くから両者の接近を捉えたい場合は電圧Vaを大きくすればよい。待機時は、スライダはメディア41の上に接触している。この時、スピンドルモータ

タ42は回転または停止している。プローブ13とメディア41の表面が接触する危険性を考えると停止している方が好ましい。書き込み・読み取りを行う前に、プローブ13とメディア41間に電圧を印加した状態で、圧電素子23により水晶振動子22、プローブ13を共振周波数で加振し、水晶振動子22の出力からプローブ13の振動振幅を常に監視しつつ、ランプレート内の遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピードで、プローブ13をメディア41の表面に近づける。振幅が小さくなったところで、積層圧電素子46の電圧をホールドしてプローブ13とメディア41の表面を接近させることを停止する。更に、プローブ13とメディア41間に電位差を小さくし、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピードで微動のアクチュエータ（圧電素子など）により、プローブ13の先端とメディア41の表面間の距離が所望の距離になるように両者を接近させ、この後、書き込み・読み取りを始める。

【0045】一例として、待機時は、プローブ13の先端と耐摺動パッド46の表面（パッドはメディア41の表面に接触するので、メディア41の表面と同じ高さになる）が約 $0.5\mu\text{m}$ になるように予めスライダを作製しておく。例えば、電圧 $V_a$ を2V程度にし、水晶振動子22の出力からプローブの振動振幅を常に監視しつつ、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピードでプローブ13とメディア41の表面を接近させる。プローブ13とメディア41の表面間の距離が $200\text{nm}$ ぐらいになるとプローブ13とメディア41の表面間の静電引力により水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子46の電圧をホールドしてプローブ13とメディア41の表面を接近させることを停止する。 $200\text{nm}$ 程度からプローブ13とメディア41の表面の接近を検知し停止させれば、検知から停止までの間のオーバーランによりプローブ13とメディア41の表面が衝突することはない。したがって、比較的速い速度（約 $0.1\mu\text{m/s}$ ）で最初のアプローチを行うことができる。更に、今度は電圧 $V_a$ を $0.5\text{V}$ 程度にする。これによりプローブ13とメディア41の表面間の電位差は小さくなり、両者には静電引力は小さくなる。この後、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピード（約 $10\text{nm/s}$ ）でプローブ13の先端とメディア41の表面を接近させていく。数十 $\text{nm}$ 程度までプローブ13とメディア41の表面が接近するとプローブ13とメディア41の表面間の静電引力により水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。所望の距離まで両者が近づいたところで、これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子46の変位を停止する。この時はアプローチの速度が前の段階より遅くなっているため、オーバーランが少なくなる。したがって、停止時のプローブ13とメディア41の表面間の距離が小さくなくても両者が衝突

することはない。

【0046】このように待機時にプローブ13をメディア41の表面にアプローチさせた後、帰還制御を停止し、先の停止時の状態で積層圧電素子の厚みを固定する。つまりプローブ13とメディア41の表面間の距離を固定する。両者の距離を固定した後も、プローブ13に電圧を印加しつつ書き込み・読み取りを行ってもよい。あるいは、両者の距離を固定した後、スイッチを接地側に接続して、プローブへの電圧印加を止めてから、書き込み・読み取りを行ってもよい。

【0047】ここで重要なことは、積層圧電素子46はこれに印加する電圧を増減させ、変位が生じると、その後、電圧を一定にしても変位がゆっくりと変化してしまう、いわゆるクリープ現象が起きてしまうことである。これが生じると、いったん積層圧電素子46の位置（厚み）、すなわちプローブと試料表面間の距離を決めても、これが変化してしまう。これを防止するため、電荷制御回路51、あるいは低電流回路を用いた電荷制御による線形制御方式を用いる。あるいは、積層圧電素子46に直列に適当な容量のコンデンサを接続してもよい。これにより、積層圧電素子46の変位は固定され、よってプローブ13とメディア41の表面間の距離も固定される。この後、書き込み・読み取りを行うのであるが耐摺動パッド47がメディア41の表面に接触しサスペンションによって一定の力で押し付けられているので、書き込み・読み取りの動作中もプローブ13とメディア41の表面間の距離が変わることはない。帰還動作がないので、これが暴走したりして、プローブ13とメディア41の表面が衝突してしまうことがない。

【0048】このように、アプローチ時に、プローブ13とメディア41の表面間の距離が大きい時は遅いスピードで両者を接近させつつ、静電引力を用いてプローブ13とメディア41の表面間の距離が大きい段階から両者の接近を捉えることによりアプローチ時の衝突を防ぐことができる。プローブ13とメディア41の表面間の電位差と接近速度を段階的に小さくして、以上のシーケンスを行うことができる。最後のアプローチでは両者の電位差を小さくして小さい静電引力によるプローブ13とメディア41の表面間の距離検出を行ってアプローチを終了する。

【0049】従来のシアフォースだけのプローブとメディア表面間の距離検出の場合は、数十 $\text{nm}$ に接近してからでないと両者の接近を検知できないので、アプローチの最初から数十 $\text{nm/s}$ の非常にゆっくりとした速度でアプローチを行う必要があり、書き込み・読み取り動作の開始までに非常に時間がかかった。しかし先に述べた方法により、プローブとメディア表面間の距離に対応した接近速度を選ぶことができるので、書き込み・読み取り開始までの時間を短縮することができる。積層圧電素子としては数十Vで $500\mu\text{m}$ 程度の変位を得るため

に、厚さ2mm程度で20～30層程度の積層数のものを用いる。電圧を印加すると、この厚さが増えるタイプのものでもよいが、待機時や、電源off時にプローブ13とメディア41の表面間の距離が大きくなるようにするために、電圧を印加すると厚みが減るタイプを用いることが好ましい。

【0050】次に、本発明の第5の実施例について説明する。第4の実施例においては、先ず例えば電圧Vaを2V程度にしてプローブ13とメディア41の表面を接近させるアプローチを行った後電圧Vaを0.5V程度にして微調整のアプローチを行っていたが、第5の実施例では先ず例えば電圧Vaを2V程度にしてプローブ13とメディア41の表面を接近させるアプローチを行った後電圧Vaを0V、つまり接地した場合の例である。ここでは、接地したときのアプローチについて説明するものとする。

【0051】第4の実施例と同様に、例えば電圧Vaを2V程度にし、水晶振動子の出力からプローブの振動振幅を常に監視しつつ、ランプレートの速い電圧を積層圧電素子に印加して速いスピードでプローブと試料表面を接近させる。プローブとメディア表面間の距離が200nmぐらいになるとプローブとメディア表面間の静電引力により水晶振動子の振動振幅が小さくなる。これをコンピュータが捉えて積層圧電素子の電圧をホールドしてプローブと試料表面を接近させることを停止する。200nm程度からプローブとメディア表面の接近を検知し停止させれば、検知から停止までの間のオーバーランによりプローブとメディア表面が衝突することはない。したがって、比較的速い速度(約0.1 $\mu$ m/s)で最初のアプローチを行うことができる。

【0052】更に、今度はスイッチ29を接地側に切り替える。これによりプローブ13とメディア41の表面間の電位差はなくなり、両者には静電引力は働かなくなる。この後、ランプレートの遅い電圧を積層圧電素子46に印加して遅いスピード(約10nm/s)でプローブ13の先端とメディア41の表面を接近させていく。数十nm程度までプローブ13とメディア41の表面が接近するとプローブ13とメディア41の表面間のシアフォースにより水晶振動子22の振動振幅が小さくなる。所望の距離まで両者が近づいたところで、これをコンピュータ20が捉えて積層圧電素子45の変位を停止する。この時はアプローチの速度が前の段階より遅くなっているので、オーバーランが少なくなる。したがって、停止時のプローブ13とメディア41の表面間の距離が小さくなくても両者が衝突することはない。このように待機時にプローブ13をメディア41の表面にアプローチさせた後、帰還制御を停止し、先の停止時の状態で積層圧電素子46の厚みを固定する。つまりプローブ13とメディア41の表面間の距離を固定する。

【0053】上述した実施例において、プローブの振動

方向は試料又はメディアの表面に対して平行であったが、これに限定する必要はなく、例えば図5又は図6に示すように試料又はメディアの表面に対して垂直又はこれに近い方向に振動した場合でも同様な動作及び効果を得ることができる。また、上記各実施例では近接場光を用いたファイバプローブについて述べたが、本発明はプローブのアプローチ方法に特徴があるので、ノンコンタクト型やコンタクト型の原子間力顕微鏡のカンチレバーや磁力顕微鏡などにも適用可能である。更に、電圧印加を一回又は段階的に可変してもよい。また、上記各実施例では、透過光を利用したが、反射光を利用してもよく、更に光電変換素子として、フォトマルチプライヤチューブを用いたが、フォトダイオードやアバランシェフォトダイオードでもよい。また、上記第2～第5の実施例では、コンタクト型スライダを例として示したが、フライング型又はセミコンタクト型スライダでもよく、またプローブとメディアの表面間の距離を調整するアクチュエータとして積層圧電素子を示したが条件が許せば他の圧電素子でもよいし、磁力を用いたアクチュエータでもよい。更に、上記各実施例では、プローブの振動を検出する方法として水晶振動子を用いたが光学的手法によりプローブの振動を検出方法を用いてもよい。

【0054】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲内の記載であれば多種の变形や置換可能であることは言うまでもない。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光ファイバのプローブの近傍に発生する近接場光を利用するプローブ型顕微鏡は、プローブと試料の表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブと試料との間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を測定する振動振幅測定手段とを具備する。このような構成を有する本発明のプローブ型顕微鏡は、先ずプローブと試料との間に電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプローブにおける振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定する。その測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブと試料の表面間の距離を所定の位置まで粗動調整して互いに接近させる。その後、電圧印加をやめるか、あるいは一定に保った状態で、プローブと試料とが接近したとき発生するシアフォースによるプローブの振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブと試料の表面間の距離を更に急接近可能とする微動調整を行う。よって、プローブと試料が衝突することない、動作速度の速いプローブ型顕微鏡を提供できる。



【0056】また、別の発明に係る、光ファイバのプロープの近傍に発生するエバネッセント場中に設置されたメディアの記録層に近接場光を利用して情報を記録再生する情報記録再生装置は、プローブとメディアの表面間の距離を調整する距離調整機構と、プローブとメディアとの間に電圧を印加する電圧印加手段と、プローブに所定の共振周波数での振動を付与する加振手段と、電圧印加手段によって印加した電圧による電場によって、又はプローブと試料とが接近することによって発生するシアフォースによってプローブに生ずる振動振幅の変化を定する振動振幅測定手段とを具備する。このような構成を有する情報記録再生装置は、先ずプローブとメディアとの間に電圧印加手段によって電圧を印加したとき発生する電場によるプローブにおける振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定する。その測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブとメディアの表面間の距離を所定の位置まで粗動調整して互いに接近させる。その後、プローブとメディアとが接近したとき発生するシアフォースによるプローブの振動振幅の変化を振動振幅測定手段によって測定し、測定結果に基づいて距離調整機構を制御してプローブとメディアの表面間の距離を更に急接近可能とする微動調整を行う。よって、プローブ先端とメディア間の衝突が少なく、かつ動作速度の速い装置を実現できる。

【0057】更に、情報記録再生装置の距離調整機構は、プローブと接するように設けられ、かつメディアの表面に摺動可能に設けられ、電圧印加によって生じる圧電効果に伴う変位現象によってプローブとメディアの距離を可変する圧電素子を含んで構成している。よって、回転するメディアの変動に対応してプローブとメディアの間の距離を一定に保つことができる。

【0058】また、情報記録再生装置の距離調整機構における圧電素子に電荷制御回路を設けたことにより、圧

電素子に生じるクリープ現象を防ぎ、圧電素子の変位を一定に保つことができ、強いてはプローブとメディアの間の距離を一定に保つことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の概略構成を示す図である。

【図2】本発明の第2の実施例の概略構成を示す図である。

【図3】本発明の第3の実施例の概略構成を示す図である。

【図4】本発明の第4の実施例の概略構成を示す図である。

【図5】プローブの振動方向に別の形態を説明する図である。

【図6】プローブの振動方向に更に別の形態を説明する図である。

【図7】第1の従来例の概略断面を示す図である。

【図8】第2の従来例の概略断面を示す図である。

【図9】第3の従来例の概略断面を示す図である。

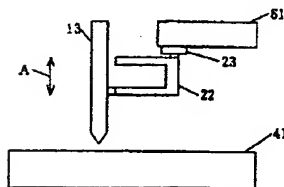
【図10】第4の従来例の概略断面を示す図である。

【図11】第4の従来例における空間周波数と光量変化の基本波成分との特性を示す図である。

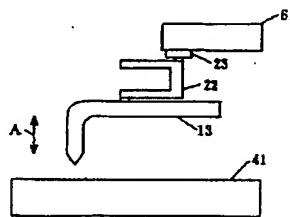
【符号の説明】

13：プローブ、14：試料、15：プリズム、17：PMT、18：アリアンプ、19、28：A/D変換器、20：コンピュータ、21：円筒圧電スキャナ、22：水晶振動子、23：圧電素子、25：差動増幅器、26：ロックインアンプ、27：帰還回路、29：スイッチ、30：可変電圧源、31：粗動ステージ、32：微動ステージ、41：メディア、45：ホルダ、46：積層圧電素子、47：耐摺動パッド、51：電荷制御回路。

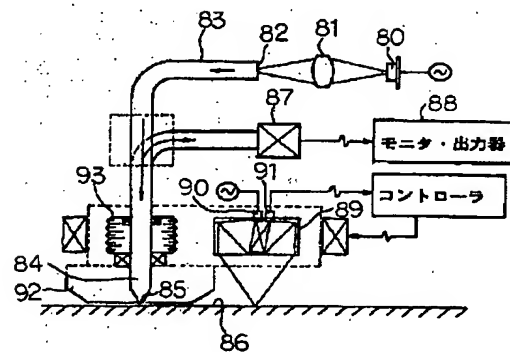
【図5】



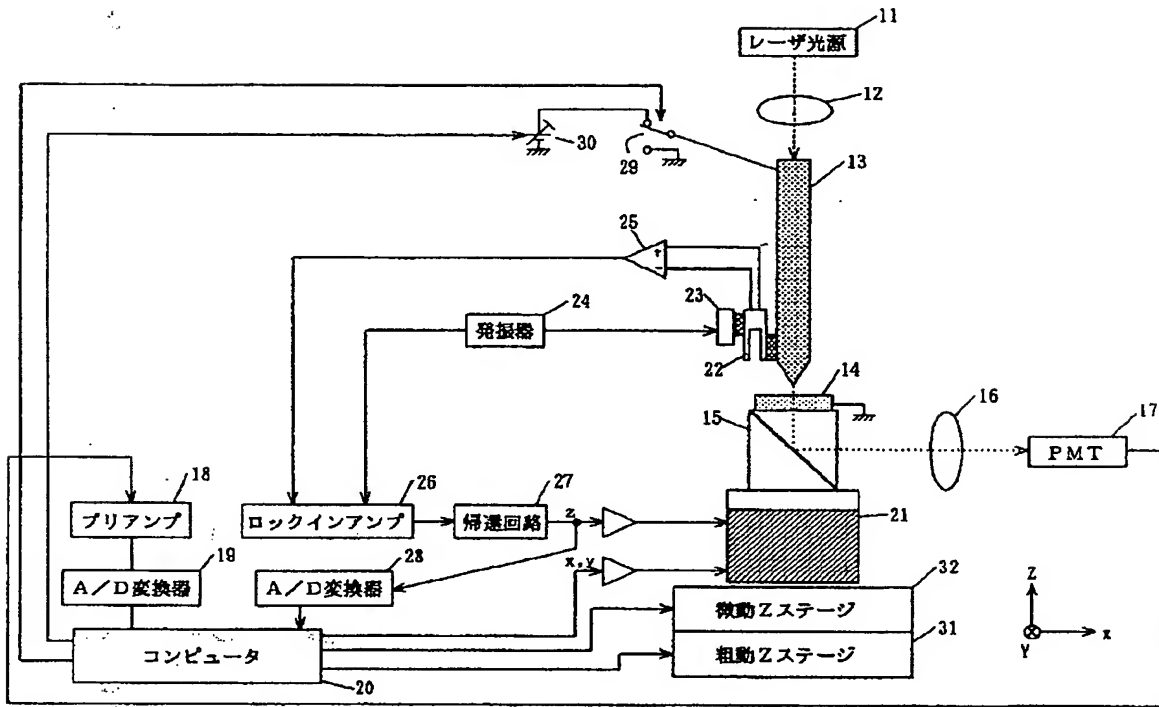
【図6】



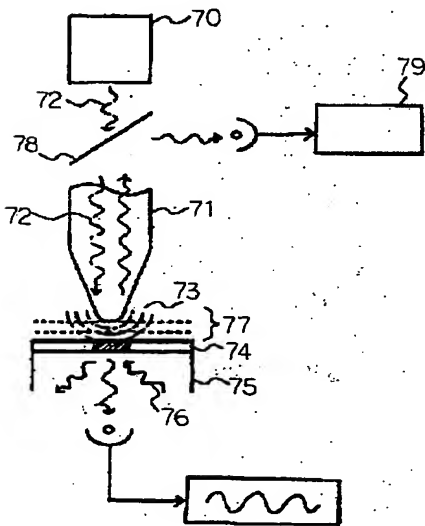
【図8】



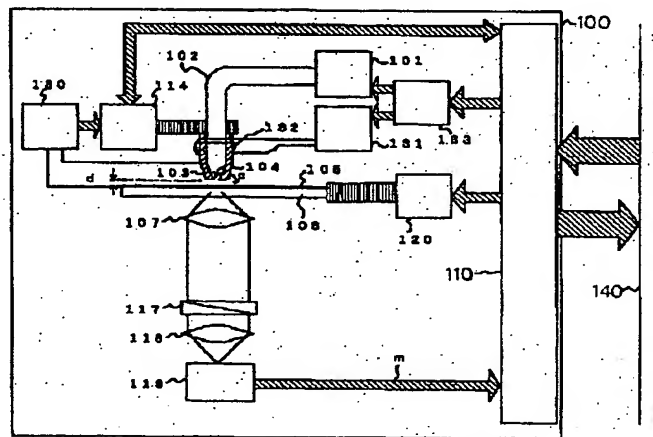
【図1】



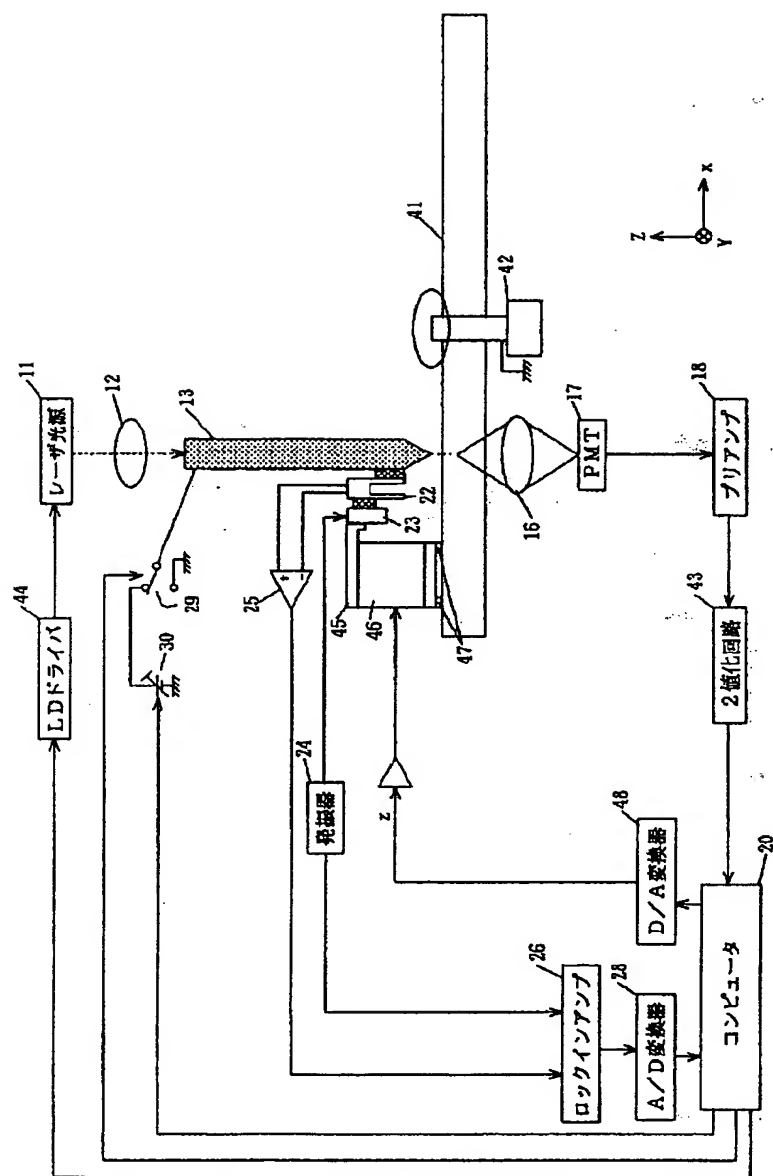
【図7】



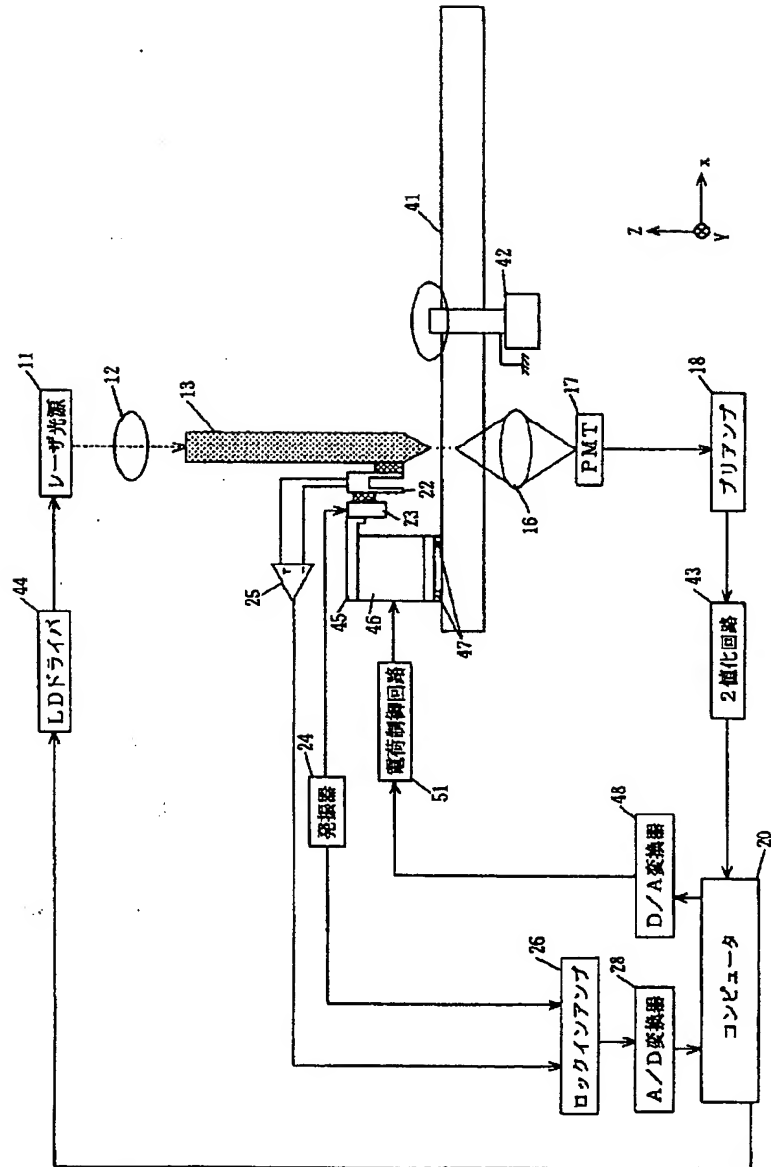
【図9】



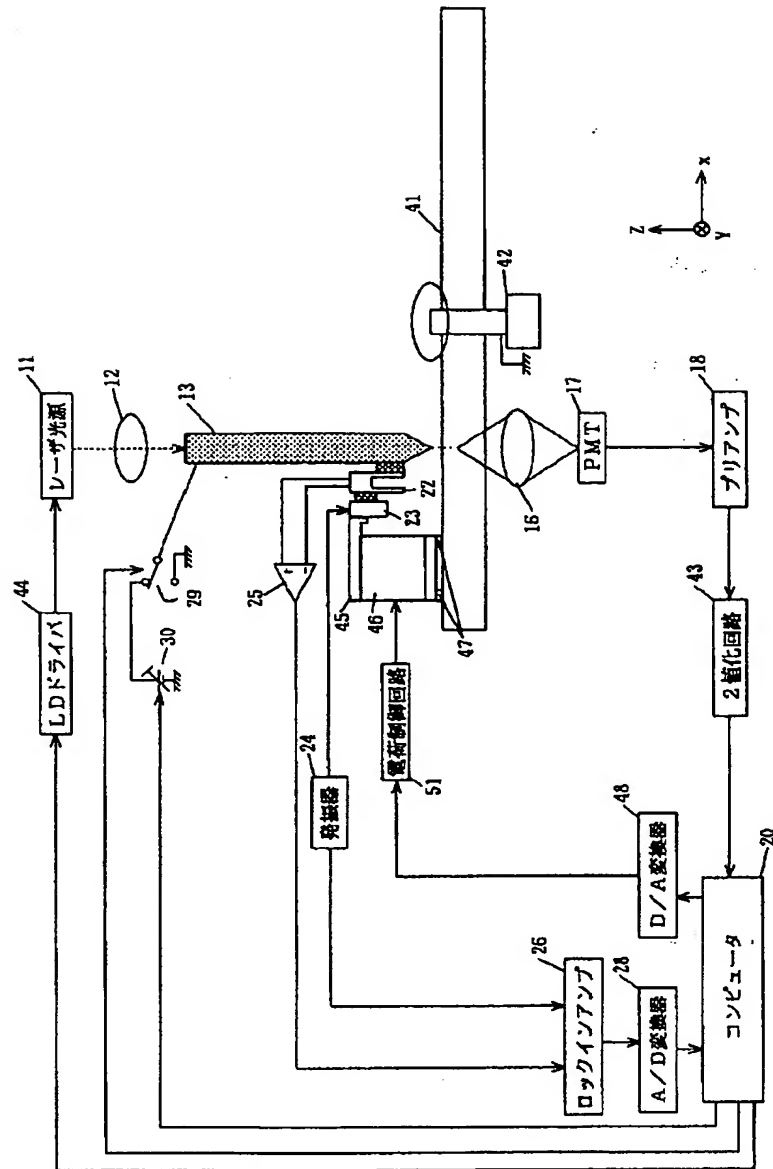
【図2】



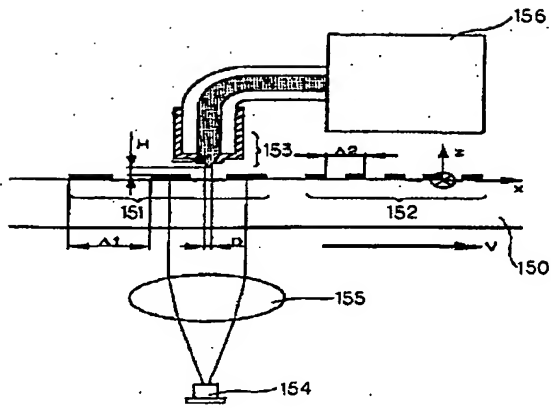
【図3】



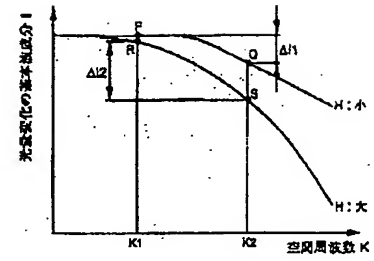
【図4】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>  
G11B 7/09

識別記号

F I  
G11B 7/09

テーマコード(参考)

B